

УДК 621.311

Кулик В.В.<sup>1</sup>, Пискляров Д.С.<sup>2</sup>

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОЕФІЦІЄНТА ФОРМИ ГРАФІКА ГРУПОВОГО  
 НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ  
 В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ**

*В статті запропоновано новий підхід до ідентифікації значень коефіцієнта форми графіка групового навантаження засобами теорії нечітких множин для задач розрахунку змінних втрат електроенергії в розподільних електричних мережах.*

У сучасних умовах функціонування вітчизняного енергетичного ринку технологічні витрати електроенергії (ТВЕ) на її транспортування стали одним з визначальних показників ефективності функціонування обласних енергопостачальних компаній. Таким чином, актуальним, з практичної точки зору, стало розв'язання ряду задач, серед яких:

1. Оцінка складових ТВЕ та складання балансу електроенергії.
2. Прогнозування значень ТВЕ в розподільних електричних мережах.
3. Планування заходів по зниженню ТВЕ в розподільних електричних мережах (ЕМ).
4. Оцінка рівня спостережності розподільних електричних мереж з метою вдосконалення інформаційної інфраструктури АСКОЕ.

Всі ці задачі об'єднані необхідністю розрахунку навантажувальної складової технічних втрат електроенергії, точному визначенню якої в елементі мережі відповідає вираз:

$$\Delta W_n = 3 \cdot R \cdot \int_0^T I^2(t) \cdot dt \approx 3 \cdot R \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^{T/\Delta t} I_i^2, \quad (1)$$

де  $R$  – активний опір елемента електричної мережі;  $I_i$  – усереднене (протягом розрахункового інтервалу часу  $\Delta t$ ) значення модулю струму навантаження. Правомірною буде заміна ряду значень струмів на одне середньоквадратичне значення  $I_{ск}$ .

В умовах наявності засобів автоматизованих систем комерційного обліку (АСКОЕ) на кожній ТП-10(6)/0,4 інформація може фіксуватися кожні півгодини. В реальних умовах майже на всіх ТП-10(6)/0,4 відсутні засоби АСКОЕ, тому інформація про споживання електроенергії фіксується один раз за звітний період (декаду, місяць).

Враховуючи велику кількість ТП-10(6)/0,4, струм навантаження визначають у вигляді середнього значення [1], що в деякій мірі спрощує розрахунковий вираз (1) до вигляду

$$\Delta W_n = 3 \cdot R \cdot \frac{(W_P^2 + W_Q^2)}{T \cdot U_\phi^2}, \quad (2)$$

де  $W_P, W_Q$  – кількість електроенергії (активної та реактивної), що пропускається через заданий елемент ЕМ;  $T$  – розрахунковий проміжок часу в годинах;  $U_\phi$  – усереднене значення фазної напруги.

Для зменшення невідповідності розрахункових втрат електроенергії реальним через неврахування в (2) графіка навантаження споживачів, використовують поправочний коефіцієнт, а саме коефіцієнт форми графіка навантаження (відношення середньоквадратичного значення струму навантаження до відповідного середнього)

$$k_\phi = \frac{I_{ск}}{I_c}, \quad (3)$$

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет, канд. техн. наук, доц.

<sup>2</sup> Вінницький національний технічний університет, аспірант

який зазвичай використовують в наступному вигляді

$$\Delta W_n = 3 \cdot R \cdot \frac{(W_p^2 \cdot k_{\Sigma\phi,p}^2 + W_Q^2 \cdot k_{\Sigma\phi,Q}^2)}{T \cdot U_\phi^2},$$

де  $k_{\Sigma\phi,p}$  та  $k_{\Sigma\phi,Q}$  – коефіцієнти форми графіків активного та реактивного навантаження групи споживачів, що отримують електроенергію через заданий елемент ЕМ.

Таким чином, навіть наявність автоматизованого обліку електроенергії на низькій стороні ТП-110/35/10(6), що є джерелом електроенергії для різнотипних споживачів не гарантує прийнятної точності визначення навантажувальних втрат електроенергії в ЕМ 10(6) кВ. Основною складністю тут є визначення коефіцієнтів форми графіка групового навантаження  $k_{\Sigma\phi}$  для окремих елементів електричної мережі. В даному випадку мова йде про наявність певної невизначеності, яка містить дві складових: нечіткої та стохастичної. Перша обумовлена різними графіками навантаження різних ТП-10(6)/0,4, які визначають груповий графік. Друга – зміною графіків у часі. Надалі мова піде про шляхи зменшення впливу нечіткої складової невизначеності.

На практиці, під час розв'язання задач проектування розподільних ЕМ або аналізу їх режимів, прийнято використовувати усереднені значення коефіцієнтів форми типових графіків навантаження споживачів з [2]. Це призводить до спотворення реальної картини балансів електроенергії, особливо, якщо ЕМ забезпечує живлення споживачів з істотно різними графіками навантаження. Одним з шляхів підвищення адекватності визначення навантажувальної складової втрат електроенергії в ЕМ є уточнення коефіцієнтів форми графіків передачі електроенергії по окремих її ділянках з наступним інтегруванням.

В даній роботі пропонується ідентифікувати коефіцієнт форми графіка навантаження групи споживачів засобами теорії нечітких множин, а саме, використовуючи операції їх об'єднання [3].

Коефіцієнт форми графіка групового навантаження  $k_{\Sigma\phi}$  в даному випадку буде представляти собою дефазифіковане значення нечіткої множини – результат об'єднання нечітких множин коефіцієнтів форми графіків, заданих для окремих ТП-10/0,4, у лінгвістичній формі. Міра впливу окремих ТП-10(6)/0,4 на загальний графік навантаження враховується ваговими коефіцієнтами.

Коефіцієнт форми графіка для більшості реальних споживачів змінюється в інтервалі [1,0; 1,15]. Задавши крок зміни коефіцієнта 0,015 отримано ряд можливих значень [1,0 1,015 1,03 1,045 1,06 1,075 1,09 1,105 1,12 1,135 1,15].

Для ідентифікації коефіцієнта форми графіка навантаження окремої ТП-10(6)/0,4 запропоновано наступні категорії споживачів [4] (терми):

1. Побутовий споживач (ПС). До даної категорії належать споживачі зі значним коефіцієнтом нерівномірності графіка навантаження. До неї можна віднести ТП-10(6)/0,4 кВ, які живлять житлові будинки та будівлі спільного користування.

$$\tilde{k}_{nc} = \left( \frac{1.135}{0.15}, \frac{1.15}{1} \right),$$

де чисельник – значення коефіцієнта форми графіка навантаження, знаменник – значення функції належності відповідного коефіцієнта зазначеній категорії споживачів.

2. Змішаний споживач з переважною часткою ПС (ЗПС). До вказаної категорії належать підстанції, більше 80 % електроенергії яких відпускається побутовим споживачам.

$$\tilde{k}_{znc} = \left( \frac{1.105}{0.15}, \frac{1.12}{1.0}, \frac{1.135}{0.15} \right).$$

3. Промисловий споживач типу 1 (ПС\_1). Під даною категорією будемо розуміти промислового споживача з двозмінною організацією роботи.

$$\tilde{k}_{nc\_1} = \left( \frac{1.075}{0.15}, \frac{1.09}{1.0}, \frac{1.105}{0.15} \right).$$

4. Змішаний споживач з переважною часткою ПС\_1 (ЗСП\_1). Під даною категорією будемо розуміти ТП, більше 80 % споживання яких складає промислове споживання з двозмінною організацією роботи.

$$\tilde{k}_{зсп_1} = \left( \frac{1.045}{0.15}, \frac{1.06}{1.0}, \frac{1.075}{0.15} \right).$$

5. Промисловий споживач типу 2 (ПС\_2). До даної категорії належать промислові споживачі з тризмінною організацією роботи:

$$\tilde{k}_{пс_2} = \left( \frac{1}{1.0}, \frac{1.015}{0.15} \right).$$

6. Змішаний споживач з переважною часткою ПС\_2 (ЗСП\_2). До даної категорії належать ТП, більше 80 % споживання яких складають промислові споживачі з тризмінною організацією роботи. До таких можна віднести ТП-10(6)/0,4 кВ, до яких приєднані насосні станції, районні або міські теплоцентралі тощо.

$$\tilde{k}_{зсп_2} = \left( \frac{1.015}{0.15}, \frac{1.03}{1.0}, \frac{1.045}{0.15} \right).$$

Для кожного з заданих термів, використовуючи наведену вище універсальну множину можливих значень коефіцієнта, за допомогою прямих методів для багатьох експертів, а саме методу Осіса [3], будуються нечіткі множини перерахованих категорій. Даний метод передбачає проведення опитування експертів, щодо належності кожного коефіцієнта  $k_\phi$  до нечітких категорій, та визначення міри приналежності  $\mu_{mun\_cn.}(k_\phi)$  за виразом:

$$\mu_{mun\_cn.}(k_\phi) = \frac{n_{mun\_cn.}}{n_\Sigma},$$

де  $n_{mun\_cn.}$  – кількість експертів, які проголосували за відповідність даного елемента терму «А». Терму «А» відповідає один з запропонованих вище термів (категорій споживачів);  $n_\Sigma$  – сумарна кількість експертів.

В результаті розрахунку коефіцієнт форми графіка групового навантаження дорівнюватиме перетину нечітких множин, які представляють один з запропонованих термів для кожного ТП-10(6)/0,4:

$$\tilde{k}_{\Sigma\phi} = \tilde{k}_{\phi 1} \cup \tilde{k}_{\phi 2} \cup \dots \cup \tilde{k}_{\phi n}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість ТП-10(6)/0,4 кВ, до яких електроенергія передається по заданій ділянці ЕМ 10(6) кВ. Операції об'єднання нечітких значень коефіцієнтів форм графіків окремих ТП, по Заде [4], відповідатиме операція знаходження максимуму.

Для врахування відмінності середніх навантажень окремих ТП-10(6)/0,4, пропонується використовувати в (4) вагові коефіцієнти  $k_{ei}, i = \overline{1, n}$ . Таким чином вираз (4) матиме наступний вигляд

$$\tilde{k}_{\Sigma\phi} = \tilde{k}_{\phi 1} \cdot k_{e1} \cup \tilde{k}_{\phi 2} \cdot k_{e2} \cup \dots \cup \tilde{k}_{\phi n} \cdot k_{en}. \quad (5)$$

Враховуючи відсутність інформації, щодо коефіцієнтів завантаження розподільних трансформаторів окремих ТП-10(6)/0,4, вагові коефіцієнти визначаються за методом аналізу ієрархій Сааті, шляхом складання матриці парних порівнянь Сааті [3].

Завершальною стадією ідентифікації коефіцієнта форми графіка групового навантаження є операція дефазифікації нечіткого значення останнього. В даній статті пропонується використовувати метод „центру тяжіння”, який вирізняється серед інших більшою точністю:

$$k_{\Sigma\phi} = \frac{\sum_{i=1}^m k_{\Sigma\phi_i} \cdot \mu_{k_{\Sigma\phi}}(k_{\Sigma\phi_i})}{\sum_{i=1}^m \mu_{k_{\Sigma\phi}}(k_{\Sigma\phi_i})}. \quad (6)$$

### *Висновки*

1. Належна точність визначення навантажувальних втрат електроенергії (1) в розподільних ЕМ не може бути забезпечена без додаткових обчислювальних заходів через недосконалість наявної інформаційної інфраструктури.

2. Ідентифікація коефіцієнта форми групового графіка навантаження шляхом представлення його окремих складників у вигляді нечітких множин дає можливість встановити відповідність між його розрахунком за виразом (3), який потребує додаткової інформації про характер споживання, та типовими усередненими значеннями.

3. Вірогідність запропонованого підходу підтверджена практичними розрахунками на прикладах реальних електричних мереж з високою мірою спостережності.

### *Перелік посилань*

1. Железко Ю.С. Расчёт, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. – М: ЭНАС, 2003. – 280 с.
2. Орлов И.Н. Электротехнический справочник: В 3 т. / И.Н. Орлов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – Т. 3. В 2 кн. Кн. 1. Производство и распределение электрической энергии. – 7-е изд., испр. и доп. – 880 с.
3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284с.
4. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей / В.И. Гордеев. – Москва: Энергоатомиздат, 1986 – 182с.

Рецензент: П.Д. Лежнюк,  
д-р техн. наук, проф., ВНТУ

Стаття надійшла 21.04.2008